Transports Canada
Développement

Transport Canada
Development

TP 7947F

Indexer: dispositif de mesure de la résistance d'une glace modèle en bassin des carènes

Rapport sommaire

Préparé pour le
Centre de développement
des transports
Transports Canada

par
Melville Shipping Ltd.

JUIN 1986

CA1
DTC 845
86
I17SZ

Canada

88-00285/

TP 7947F

INDEXER:
DISPOSITIF DE MESURE DE LA RÉSISTANCE D'UNE GLACE MODÈLE EN BASSIN DES CARÈNES

Library and Information Centre
JUL 20 1987
Transport Canada / Transports Canada

par

D.N. Baker

Melville Shipping Ltd.

Juin 1986

Les opinions exprimées dans ce rapport sont celles du contractant et ne reflètent pas nécessairement celles du Centre de développement des transports, Transports Canada.

Also available in English under the title: "An Ice Strength Indexer for Model Towing Tanks", TP 7947E.

Transports Canada / Transport Canada

Développement / Development

FORMULE DOCUMENTAIRE DU RAPPORT

1. N° du rapport Transports Canada	2. N° de l'étude — CDT	3. N° de catalogue du destinataire
TP 7947F	6548	

4. Titre et sous-titre	5. Date du rapport
Indexer: dispositif de mesure de la résistance d'une glace modèle en bassin des carènes	Juin 1986
	6. N° du rapport de l'organisme exécutant: P85-17
7. Auteur(s): D.N. Baker	8. N° de dossier Transports Canada: D 1460-226
9. Nom et adresse de l'organisme exécutant: Melville Shipping Ltd. 350, rue Sparks, Suite 1007 Ottawa (Ontario) K1R 7S8	10. N° de dossier — ASC: 14SD.T8200-5-5545
	11. N° de contrat — ASC ou Transports Canada: OSD85-00132
12. Nom et adresse de l'organisme parrain: Centre de développement des transports (CDT) Complexe Guy-Favreau, 200 o., boul. Dorchester Suite 601, tour ouest Montréal (Québec) H2Z 1X4	13. Genre de rapport et période visée: Sommaire
	14. Code de l'organisme parrain: CDT 6548
15. Remarques additionnelles: Sommaire du rapport "An Ice Strength Indexer for Model Towing Tanks", TP 7700E, janvier 1986	16. Agent de projet — CDT: C. Nowicki

17. Resume

Les caractéristiques mécaniques des glaces sont généralement mesurées par la méthode de la poutre. Toutefois, ce matériel d'essai ne permet pas de procéder à d'autres déterminations, étant donné que les caractéristiques d'une glace ne sont pas stables dans le temps. La recherche dont il est rendu compte ici concerne l'étude, la mise au point et les premiers essais d'un dispositif appelé Indexer, capable de mesurer en continu les principales caractéristiques mécaniques d'une glace modèle, en même temps que se déroulent les essais sur modèle réduit dans un bassin des carènes. Pour cela, l'Indexer comporte trois plaques dotées d'instruments permettant de mesurer la résistance de la glace à la rupture en flexion, cisaillement et écrasement.

Les essais du dispositif ont eu lieu dans le Laboratoire d'hydraulique du Conseil national de recherches à Ottawa. Ces essais ont montré que l'Indexer est capable de mesurer les efforts exercés dans les trois axes de rupture et qu'il promet de faire avancer la recherche dans le domaine des essais sur modèle réduit dans des bassins de glace.

18. Mots-clés	19. Diffusion
Glace modèle, bassin, propriétés, mécaniques, résistance, mesure, instrument.	Exemplaires disponibles sur demande au Centre de développement des transports.

20. Classification de sécurité (de ce rapport)	21. Classification de sécurité (de cette page)	22. Nombre de pages	23. Prix
non classifié	non classifiée	v, 15	-

Transport Canada / Transports Canada

Development / Développement

REPORT DOCUMENTATION FORM

1. Transport Canada Report No.	2. TDC Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP 7947F	6548	

4. Title and Subtitle	5. Report Date
Indexer: dispositif de mesure de la résistance d'une glace modèle en bassin des carènes	June 1986
	6. Performing Organization Report No. P85-17

7. Author(s)	8. Transport Canada File No.
D.N. Baker	D 1460-226

9. Performing Organization Name and Address	10. DSS File No.
Melville Shipping Ltd. 350 Sparks Street, Suite 1007 Ottawa, Ontario K1R 7S8	14SD.T8200-5-5545
	11. DSS or Transport Canada Contract No. OSD85-00132

12. Sponsoring Agency Name and Address	13. Type of Report and Period Covered
Transportation Development Centre (TDC) Guy Favreau Complex, 200 Dorchester Blvd. West Suite 601, West Tower Montreal, Quebec H2Z 1X4	Summary
	14. Sponsoring Agency Code TDC 6548

15. Supplementary Notes	16. TDC Project Officer
Summary of "An Ice Strength Indexer for Model Towing Tanks", TP 7700E, January 1986	C. Nowicki

17. Abstract

The mechanical properties of model ice are usually determined by manual cantilever beam tests. Additional ice property calibration is not feasible with existing testing equipment because model ice properties change with time. This report describes the design, development and preliminary testing of an instrument, the Indexer, which monitors the primary mechanical properties of the model ice, simultaneously with model tests. The Indexer uses three instrumented plates to monitor the flexural, shearing and crushing strength of the model ice.

The model tests were conducted at the National Council Hydraulics Laboratory in Ottawa, Canada. The results indicate that the Indexer is capable of monitoring the three ice fracturing mechanisms and that the device will be of significant benefit to model ice testing tanks.

18. Key Words	19. Distribution Statement
Model ice, tank, properties, mechanics, strength, measurement, instrument.	Copies available upon request from the Transportation Development Centre.

20. Security Classification (of this report)	21. Security Classification (of this page)	22. No. of Pages	23. Price
Unclassified	Unclassified	v, 15	-

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION	1
2.	INDEXER: ÉTUDE ET RÉALISATION	2
3.	ESSAIS	6
4.	UTILISATION DE L'INDEXER	12
5.	CONCLUSIONS	13
6.	RECOMMANDATIONS	15

LISTE DES FIGURES ET TABLEAU

Figure 2.1	Perspective éclatée de l'Indexer	3
Figure 3.1	Courbes effort-temps types obtenues par l'Indexer	9
Figure 3.2	Méthode pour établir l'indice de résistance à la rupture en flexion	10
Figure 3.3	Corrélation entre les résultats des essais automatiques (Indexer) et classiques	11
Tableau 3.1	Programme des essais	8

1. INTRODUCTION

Au cours des trois dernières années, Melville Shipping Ltd. a collaboré activement au vaste programme d'essais sur modèles réduits de cargos brise-glace conduits par trois établissements de recherche, deux européens et un nord-américain, dans des bassins recouverts d'une glace artificielle d'une épaisseur pouvant représenter jusqu'à 2,2 m de glace réelle.

Un des aspects particuliers de ce programme a été d'examiner de prés la procédure adoptée par ces établissements pour caractériser la glace modèle. Cet examen a révélé que:

- en plus de différer les unes des autres, les procédures mises en oeuvre sont laborieuses et onéreuses;

- en général, seuls la résistance à la rupture en flexion et le module d'élasticité étaient mesurés, ce qui rendait difficile la comparaison des résultats obtenus avec des glaces modèles de types différents;

- pour mieux cerner les facteurs d'échelle à prendre en compte, il serait utile de connaître les autres caractéristiques de la glace modèle, telle la résistance à l'écrasement et au cisaillement.

Suite à cet examen, Melville a étudié un dispositif de mesure qu'elle a appelé Indexer et qui permet de mesurer en continu la résistance mécanique d'une glace modèle, d'un bout à l'autre du bassin, en même temps que se déroulent les essais sur modèle réduit.

Les travaux dont il est rendu compte ici concernent l'étude de l'Indexer et les essais auxquels il a été soumis dans le Laboratoire d'hydraulique du Conseil national de recherches (CNR), ainsi que les premiers efforts de corrélation entre les résultats de ce dispositif et ceux obtenus par les méthodes classiques.

2. INDEXER: ÉTUDE ET RÉALISATION

L'Indexer a été étudié en fonction des critères suivants:

- mesurer en continu la résistance mécanique d'une glace modèle d'un bout à l'autre du bassin, et en même temps que les essais sur modèle réduit;
- n'exercer aucune influence sur ces essais;
- être simple à mettre en oeuvre et n'exiger qu'un entretien minimal; et
- se prêter aux modifications que l'étape de mise au point du dispositif aura révélées comme nécessaires.

Dès l'étape de conception, les chercheurs ont compris qu'il ne serait pas possible de réaliser un dispositif qui, tout en étant simple, fournirait les données de caractérisation d'une glace modèle ou d'une glace réelle en termes directement comparables, mais qu'il faudrait plutôt dégager des coefficients permettant de faire le lien avec les méthodes classiques. Une fois ces coefficients dégagés, lesdites méthodes ne serviraient plus alors qu'au contrôle d'une glace modèle durant les phases de sa formation et de son mûrissement et, peut-être aussi, aux fonctions de vérification et de réétalonnage à l'issue des essais sur modèle réduit.

Les trois types de résistance que l'Indexer doit mesurer sont: la résistance à la rupture en flexion, à l'écrasement et au cisaillement. Le dispositif comporte des plaques métalliques placées de manière à provoquer ces trois modes de rupture, les forces exercées étant alors enregistrées en continu et prises pour représenter la résistance globale de la glace.

L'Indexer est illustré schématiquement à la figure 2.1. Le cadre avant comporte des mèches mues par des moteurs et découpant la glace en bandes à bords parallèles, devant les trois plaques qui la chargeront selon les trois axes principaux: flexion, cisaillement et écrasement.

La plaque de flexion, placée juste derrière et entre les deux mèches, est inclinée vers le bas de manière à imprimer une flexion à la glace. La plaque de cisaillement, juxtaposée à la précédente, est elle aussi inclinée vers le bas et l'un de ses côtés est en alignement avec une des mèches pour imprimer une force de cisaillement. Quant à la plaque

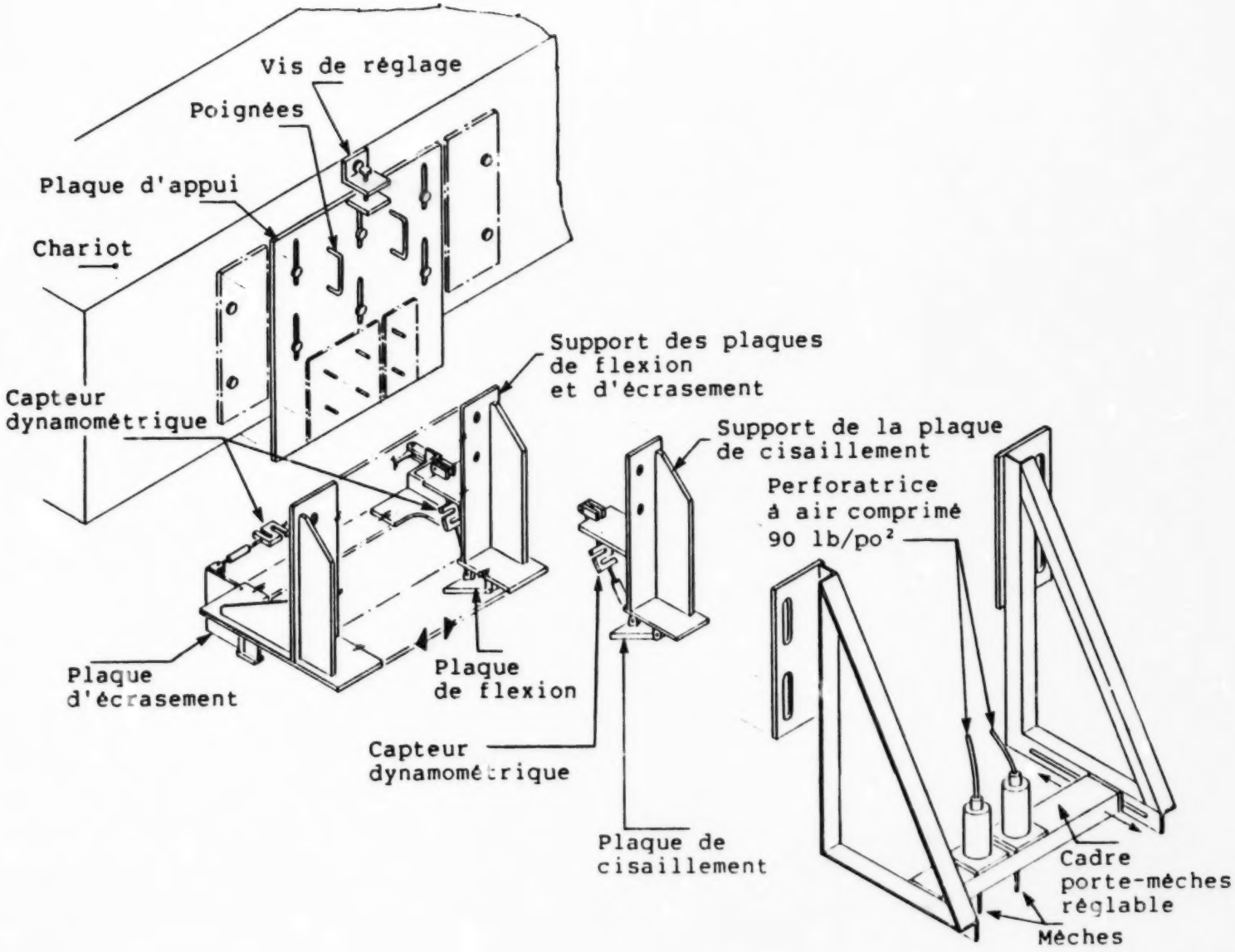


Figure 2.1 Perspective éclatée de l'indexer

d'écrasement, elle est placée verticalement, dans le coin de l'assemblage diagonalement opposé à la plaque de flexion.

L'étude de l'Indexer a exigé beaucoup de temps et de recherche, ses principales caractéristiques étant les suivantes:

- Les tôles composant sa structure sont faites d'acier doux, de ½ ou ⅜ de pouce d'épaisseur (12,7 ou 9,5 mm) afin que sa fréquence de résonance naturelle soit élevée, environ 60 Hz.

- Les mèches animées par deux perforatrices haute vitesse à air comprimé sont capables de couper une glace de 40 mm d'épaisseur à raison de 0,5 m par seconde. Elles sont caractérisées par un filet à gauche qui dirige vers le fond les débris ainsi que l'eau entraînée. De cette façon, la surface de la glace n'est pas mouillée, ce qui aurait pu fausser les résultats.

- Les mèches et les plaques ne sont pas montées sur le même cadre, de manière à réduire les vibrations au minimum.

- Les plaques sont montées au moyen de douilles et de goupilles en acier inoxydable afin de réduire la corrosion et de donner aux plaques le plus de rigidité possible.

- Les plaques sont reliées à des capteurs dynamométriques étanches en forme de S, 0-50 lb (222 N) pour les plaques de flexion et de cisaillement, et 0-250 lb (1 112 N) pour la plaque d'écrasement.

- L'état de surface des plaques peut être varié pour étudier les effets de frottement.

- L'angle d'inclinaison des plaques est réglable.

- Le dispositif est réglable horizontalement pour varier la position des plaques par rapport aux mèches et verticalement pour varier sa position par rapport à la surface de la glace.

- Les plaques de flexion et de cisaillement sont séparées l'une de l'autre pour permettre de varier leur position relative sur le plan horizontal.

- Le dispositif est fabriqué en plusieurs parties démontables, faciles à manipuler et à transporter.

3. ESSAIS

Les chercheurs ont procédé aux essais de l'Indexer, de décembre 1985 à février 1986, dans le bassin des glaces du CNR à Ottawa, avec cinq épaisseurs de glace différentes. Le tableau 3.1 présente, en regard de chacun des essais, les conditions opératoires retenues: caractéristiques de la glace, allure et configuration du dispositif.

Durant les essais, l'épaisseur de la glace a été mesurée à intervalles d'un demi-mètre le long de la bande découpée par le dispositif, et sa résistance en flexion mesurée par la méthode de la poutre à une distance de 3 m de cette bande (pour éviter toute influence du dispositif sur les résultats) et à intervalles de 0,5 à 1 m en aval, selon l'essai. À chaque étape, la résistance en flexion a été mesurée sur trois poutres de glace, à l'aide d'un instrument à ressort dûment étalonné.

Les essais manuels de cisaillement et d'écrasement destinés à compléter la corrélation avec les résultats de l'Indexer n'ont pas encore eu lieu.

L'objectif de ces essais préliminaires était de vérifier qualitativement l'uniformité de l'action du dispositif sur la glace et de s'assurer qu'il ne perturbait pas indûment la couche de glace environnante. Cet objectif a été atteint, bien que de légères perturbations de la glace aient été constatées du côté de la plaque d'écrasement; ces dernières ne sont toutefois pas considérées comme significatives.

La figure 3.1 montre les courbes effort-temps types obtenues au moyen de l'instrumentation utilisée. En général, l'allure de la courbe concorde bien avec le mode de rupture considéré:

- Flexion, figure 3.1a. Les résultats fournis par la plaque de flexion concordent avec ceux qui résultent d'un essai de poutre classique: la charge va croissant jusqu'au moment de la rupture qui survient brusquement et qui est suivie d'une chute rapide de la résistance. Ce cycle se répète à mesure que l'Indexer avance dans la glace. Entre les pointes, cependant, on constate des variations rapides dans les valeurs de résistance. L'explication de ce phénomène n'est pas aisée, mais il pourrait être attribué à la glace qui, en se brisant, est repoussée contre la plaque par les forces de flottaison.

De plus amples recherches sont nécessaires pour expliquer la présence de cette charge variable.

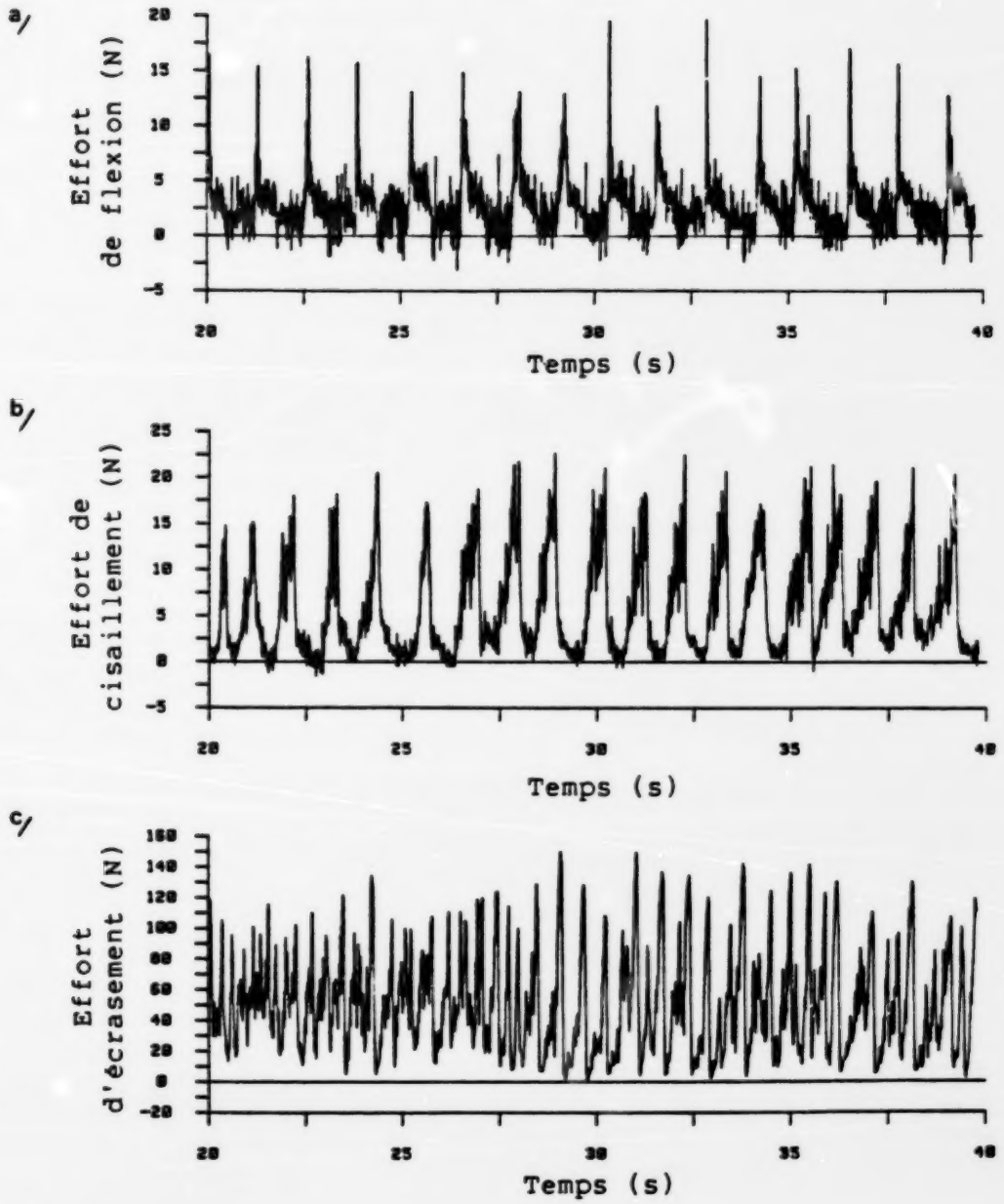
- Cisaillement, figure 3.1b. Les résultats fournis par la plaque de cisaillement sont difficiles à interpréter clairement, étant donné que les efforts de cisaillement comportent une composante de flexion observée sous la forme de pointes de charge. Le chevauchement de ces deux types de résistance pourra disparaître lors de la phase suivante du programme d'essais à l'Institut de dynamique marine, lorsque la plaque de cisaillement aura été diminuée en largeur de manière à réduire la composante de flexion dans les efforts de cisaillement.

  Écrasement, figure 3.1c. L'effort mesuré à la plaque d'écrasement varie à une fréquence beaucoup plus élevée que les deux autres cas. Cela s'explique par la présence d'un autre phénomène, le flambage élastique de la glace sous l'action de l'Indexer, phénomène qui se manifestait durant les essais par des ondulations rayonnant à partir du dispositif. Pour empêcher qu'elles ne se répercutent sur le résultat des essais sur modèle réduit, la plaque d'écrasement doit être orientée dans la direction opposée à celui-ci.

Ayant déterminé que l'Indexer se comporte bel et bien de la façon souhaitée, les chercheurs doivent étudier une procédure qui permettra d'établir une corrélation entre les résultats qu'il a fournis et ceux obtenus par les méthodes classiques. Bien qu'il s'agisse d'une tâche considérable, elle n'est pas impossible, à en juger d'après les quelques résultats tirés des essais préliminaires. La seule propriété mécanique mesurée manuellement lors des essais a été la résistance à la rupture en flexion. La figure 3.2 montre la démarche suivie pour calculer "l'indice" de résistance à partir de l'information enregistrée, et la figure 3.3 le genre de corrélation qui a pu être obtenue entre les deux groupes de résultats. De façon générale, la corrélation obtenue est bonne, ce qui démontre la validité de la technique automatique. Il faut noter toutefois que les valeurs absolues de flexion recueillies à l'aide de l'Indexer diffèrent de celles tirées des techniques classiques, en raison de la manière différente dont la charge est appliquée dans les deux cas. Mais ce qui importe, et qui ressort bien de la figure 3.3, est la concordance dans l'allure générale des graphiques de résistance.

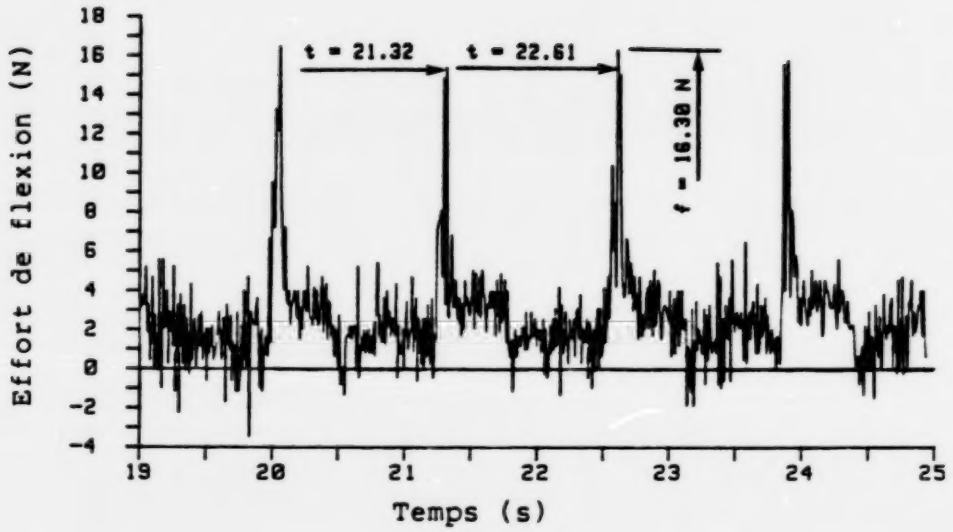
Tableau 3.1 Programme des essais

Essai n°	Glace modèle n°	Vitesse cm/s	Épaisseur mm	Résistance kPa	Observations
1	1	2,0	35	40	- 17 décembre 1985
2	1	5,0	35	40	- Enregistrement des valeurs nominales de résistance
3	1	20,0	35	40	
4	1	50,0	35	40	
5	1	1,2	35	40	
6	2	10,0	32 - 36	35 - 42	- 19 décembre 1985 - Passage unique le long du bassin
		Modifications de l'Indexer			
7	3	10,0	35 - 38	26 - 38	- 13 février 1986 - Mèches en position avancée - Indexer en position baissée
8	3	10,0	36 - 40	32 - 42	- 13 février 1986 - Mèches en position reculée - Indexer en position baissée
9	4	10,0	37 - 43	24 - 35	- 18 février 1986 - Mèches en position reculée - Indexer en position élevée
10	4	10,0	37 - 42	32 - 41	- 18 février 1986 - Mèches en position reculée - Indexer en position baissée
11	5	10,0	38 - 42	29 - 48	- 20 février 1986 - Mèches en position reculée - Indexer en position élevée
12	5	10,0	36 - 43	5 - 7	- 20 février 1986 - Mèches en position reculée - Indexer en position élevée



Vitesse de l'Indexer 10 cm/s
Résistance de la glace 35-42 kPa
Épaisseur de la glace 32-36 mm

Figure 3.1 Courbes effort-temps types obtenues par l'Indexer



Courbe effort-temps

Effort vertical à la 13e seconde	F	= 16,30 N
Angle du capteur p.r. à la verticale		= 22,5°
Composante verticale de F	F x cos 22,5	= 15,06 N

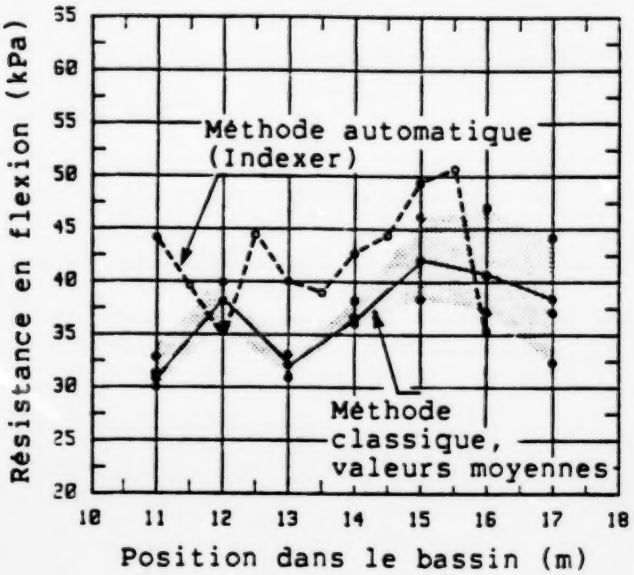
Position de l'Indexer dans le bassin

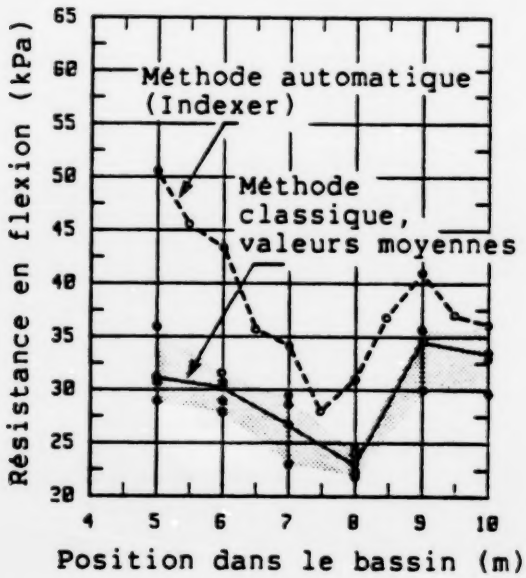
Position à 22,63 s	= 6 m
Épaisseur de la glace à 6 m	= 3,3 cm

Courbe vitesse-temps

Vitesse de l'Indexer		= 10 cm/s
Durée de l'effort de rupture		= 1,29 s
Longueur de la poutre	L	= 12,9 cm
Largeur de la poutre	l	= 18 cm
Contrainte de flexion à la rupture		$= \frac{6 \times F \times L}{l \times t^2}$
		= 59 kPa

Figure 3.2 Méthode pour établir l'indice de résistance à la rupture en flexion





Plage des valeurs mesurées par la méthode de la poutre

0 Valeurs ponctuelles

● Valeurs moyennes

Figure 3.3 Corrélation entre les résultats des essais automatiques (Indexer) et classiques

4. UTILISATION DE L'INDEXER

L'Indexer doit servir principalement à établir de meilleures prévisions sur les performances des brise-glace, à partir des essais sur modèle réduit en bassin des carènes. Pour cela, il faut en savoir davantage sur les caractéristiques des glaces modèles. D'après les premiers résultats, l'Indexer est capable de caractériser une glace modèle en déterminant sa résistance en flexion, cisaillement et écrasement.

Or, ces valeurs de résistance devront servir à leur tour à caractériser la résistance à l'avancement dans le cas d'un modèle réduit. Pour arriver à cette fin, il est nécessaire de déterminer l'importance relative des trois modes de rupture (flexion, cisaillement et écrasement) dans l'action d'une coque modèle donnée. Il faut donc commencer par donner à celle-ci une formulation mathématique dont on tirera des coefficients dits de forme, caractéristiques de son action sur les glaces.

Cette formulation mathématique d'une coque modèle pourra être dérivée des travaux qui se font depuis une dizaine d'années sur la prévision des performances par des moyens analytiques. La grande différence entre les formulations analytiques et celles autorisées par l'Indexer est que ces dernières seront axées non pas sur la prédiction de la résistance effective de la proue, mais sur la détermination du mode de rupture particulier que privilégie une forme de coque donnée.

Cette technique a l'avantage de ne pas donner prise à la critique souvent formulée contre les méthodes mathématiques de prévision, à savoir qu'il est impossible de reproduire mathématiquement le mécanisme fondamentalement irrégulier de la rupture d'une glace par la coque d'un navire. On ne demandera donc à l'Indexer qu'à mettre en évidence la propension d'une coque à fracturer une glace selon les principaux axes de rupture et non à en donner des valeurs absolues de résistance.

Bien qu'il soit impossible de prédire l'aspect définitif de la formulation, on pense néanmoins qu'il pourra s'agir de trois coefficients distincts représentant respectivement les trois composantes de la résistance globale à l'avancement.

5. CONCLUSIONS

L'objectif principal de cette recherche a été d'étudier un dispositif permettant de connaître les caractéristiques mécaniques d'une glace modèle. Ce dispositif, appelé Indexer, comporte des plaques inclinées de manière à fracturer la glace en flexion, cisaillement et écrasement, et reliées à des capteurs dynamométriques indiquant la valeur des charges exercées selon chacun de ces trois axes.

Les grandes conclusions de la recherche sont les suivantes:

- La série préliminaire d'essais sur la glace modèle n° 1 a montré peu ou pas de relation entre vitesse et mode de rupture. Un nombre insuffisant d'essais ont été faits dans le but d'établir une relation quelconque entre les charges exercées et la vitesse, dans des glaces aux caractéristiques identiques. En conséquence, le rapport effort-déformation n'a pas été étudié.

- Une faible corrélation a pu être établie entre les résultats fournis par l'Indexer et ceux des méthodes classiques. On l'explique en partie par la résistance et l'épaisseur inégales de la glace dans l'axe longitudinal du bassin et par les variations supposées de ces mêmes paramètres dans le sens transversal.

- L'action de la plaque de flexion en est une de flexion quasiment pure, à en juger par la forme de la rupture qui s'apparente à la courbe résultant de la méthode de poutre classique.

- L'action de la plaque de cisaillement résulte en une rupture en cisaillement doublée d'une rupture en flexion. Les premiers résultats montrent que la plaque de cisaillement est sensible à l'épaisseur de la glace.

- L'action de la plaque d'écrasement résulte en une rupture en écrasement doublée d'une rupture en cisaillement.

- Les plaques de flexion et de cisaillement sont sensibles à l'emplacement des mèches coupe-glace. Les premiers résultats montrent que celles-ci devraient être placées à proximité de ces deux plaques pour donner un résultat optimal.

- Les plaques de flexion et de cisaillement ne sont pas très sensibles à la position du dispositif par rapport à la glace. Néanmoins, cet aspect devra être approfondi étant donné le mécanisme de rupture constaté.

- Une importante variation dans la résistance à l'écrasement a été notée lors d'un essai avec l'Indexer, cette variation n'ayant pas été mise en évidence par les essais manuels.

- L'effet du module d'élasticité de la glace n'a pas été étudié.

6. RECOMMANDATIONS

Le succès des premiers essais avec l'Indexer permet de formuler les recommandations suivantes:

- Poursuivre les essais sur modèle réduit afin d'affiner la corrélation entre le résultat de l'Indexer et ceux des essais classiques.

- Consacrer ces essais complémentaires à établir la corrélation entre les charges exercées par les plaques de cisaillement et d'écrasement et les caractéristiques mécaniques correspondantes de la glace modèle.

- Étudier l'effet du module d'élasticité de la glace sur le mécanisme de rupture mis en évidence par l'Indexer.

- Approfondir davantage l'influence de la position de l'Indexer par rapport à la glace sur les charges exercées par les trois plaques.

- Dégager des coefficients de forme qui permettront de connaître la propension d'une proue à fracturer la glace selon les axes de flexion, de cisaillement ou d'écrasement.

- Étudier une méthode permettant d'établir la corrélation entre coefficients de forme, caractéristiques mécaniques de la glace mesurées par l'Indexer et résistance totale à l'avancement.

- Garder le secret autour de l'Indexer, jusqu'à ce qu'on ait fini de l'évaluer à fond, en raison de la percée qu'il représente. Ainsi, les deux établissements de recherche, la Melville Shipping Ltd. et l'Institut de dynamique marine, pourront proposer aux intéressés un dispositif déjà au point et récupérer de la sorte une partie des fonds que l'Institut a consentis pour la recherche.